

# 高分子材料の切断抵抗

北 川 正 義\*

## Cutting Resistance in High Polymers

by

Masayoshi KITAGAWA

### Abstract

Cutting processes of polypropylene (PP) and polyethylene (PE) were studied to clear the mechanism for cutting in high polymer. As the first step of the study, the effects of temperature and cutting rate on cutting force were investigated. The force decreases with a decrease in cutting rate and an increase in temperature. The values of the force were reduced to those of 19°C for PP and 20°C for PE by applying the ratio of absolute temperatures and plotted against the logarithm of the reciprocal of the rate. These curves were then shifted on the time scale to give a master curve. The logarithms of the shift factors thus obtained were nearly coincident with those of yield process in the case of PP. The result indicates a generality for the viscoelastic principle of time-temperature equivalence.

## 1. 緒 言

高分子材料の加工の主流は成形加工法であるが、成形加工に付随したばり取り、板材や管材の切削加工などの機械加工法も必要である。高分子材料の機械加工については、小林<sup>1)</sup>の実用的な研究がある。金属材料に適用された研究手段と同様な取扱いから、切削抵抗、切屑の種類などと切削条件の関係を調べている。しかし、切削機構自体を明らかにするには、高分子材料特有の粘弾性効果などを考慮した研究が必要である。

本報では、高分子材料の切削機構を考える第1段階として、工業的にしばしば使用されるポリプロピレンおよびポリエチレンの切断抵抗について考察する。

## 2. 実 験 方 法

使用した材料は厚さ 1mm の市販ポリプロピレン (PP) およびポリエチレン (PE) 板である。PP および PE 両材とも、ガラス遷移温度は室温より低いので、室温では流動状態である。予備実験の結果によると、板幅の増加によって切断抵抗の最大値は増加し、板幅が約 30mm 以上では抵抗値は板巾に

\* 機械工学第二学科

依存せずほぼ一定値となった。これより、 $30 \times 70\text{mm}$  の矩形板を試験片として採用した。切断抵抗測定装置として、図1に示す型式の引張試験装置を試作した。試験機は約  $1\text{mm/min}$  から  $70\text{mm/min}$  までの速度変化が可能である。

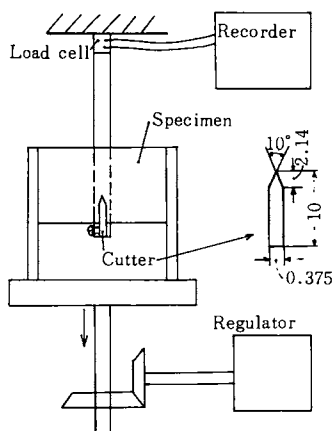


Fig. 1 Schematic illustration of cutting method.

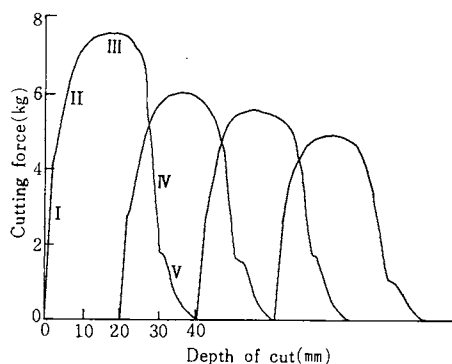


Fig. 2 Examples of curves of force vs. depth of cut for different rates of cutting at  $19^\circ\text{C}$  for PP: (left to right) 68.0, 21.0, 8.3 and  $1.85\text{mm/min}$ .

通常の切削工具による切削実験の前段階として、かみそり刃による切断実験を行う。切刃としては試験中曲げなどが生じない厚さのものが必要で、このため市販NTカッタ（厚さ： $0.375\text{mm}$ ，切刃角度：約  $10^\circ$ ）を使用した。切刃は1回の試験で欠損が生ずることを考慮して、新しい切刃部で切断を行うようにした。試験は、1.03, 1.85, 3.95, 8.28, 11.80, 21.0, 38.0 および  $68.0\text{mm/min}$  の8種の切断速度および  $4 \sim 40^\circ\text{C}$  の温度範囲（誤差  $\pm 1^\circ\text{C}$  以内）で行った。

### 3. 結果および考察

図2にPPの切断力  $F$  と切込み深さ  $d$  との関係を示す。PE材については、切断力  $F$  の最高値が減少する点を除けば、PPと傾向的には同様である。

切刃が一定距離進む間は抵抗は直線的に変化し（第I段階）、続いて次第に抵抗が増し（第II段階）、一定値をとった（第III段階）後、次第に減少していく（第IV段階）。材料切断後は材料と切刃の摩擦のため抵抗が残存し、切刃の進行とともにゆっくりと減少していく（第V段階）。抵抗の増加領域（第Iおよび第II段階）では、両対数グラフ上で、切断力は切込み深さに対して直線的に増加する。第I段階では  $F \propto d$ ，第II段階では  $F \propto d^{1/3}$  で与えられる。この関係は、PE材にもあてはまる。Livingston他<sup>2)</sup>のゴムの穴あけ破壊の研究では、第II段階に対して  $F \propto d^{5/2}$  となっており、本研究に比べて高い値をとっている。第III段階の抵抗値と切断速度  $v$  の関係を図3に示す。図3は温度・時間換算の通例の方法に従って、たて軸は抵抗値として基準温度（PPに対しては  $19^\circ\text{C}$ ，PEに対しては  $20^\circ\text{C}$ ）に換算した力、および横軸は時間軸となるように速度の逆数をとって整理してある。切断速度の減少および試験温度の上昇とともに切断抵抗は減少する。高分子材特有の「温度および時間」の等価性を考慮して、基準温度の切断力曲線に重ね合わせるように時間軸を移動し、一本の合成曲線（Master curve）をつくつたものを図4に示す。これによると、基準温度に対する切断力の広範囲な切断速度依存性が

わかる。この合成曲線を作成する際の時間軸の移動量を温度・時間換算因子 (shift factor) と称し、一般に  $a_T$  で表わす。 $a_T$  の温度依存性を示すと図5のようになるが、PP および PE 両材とも、ほぼ同様な傾向を示している。

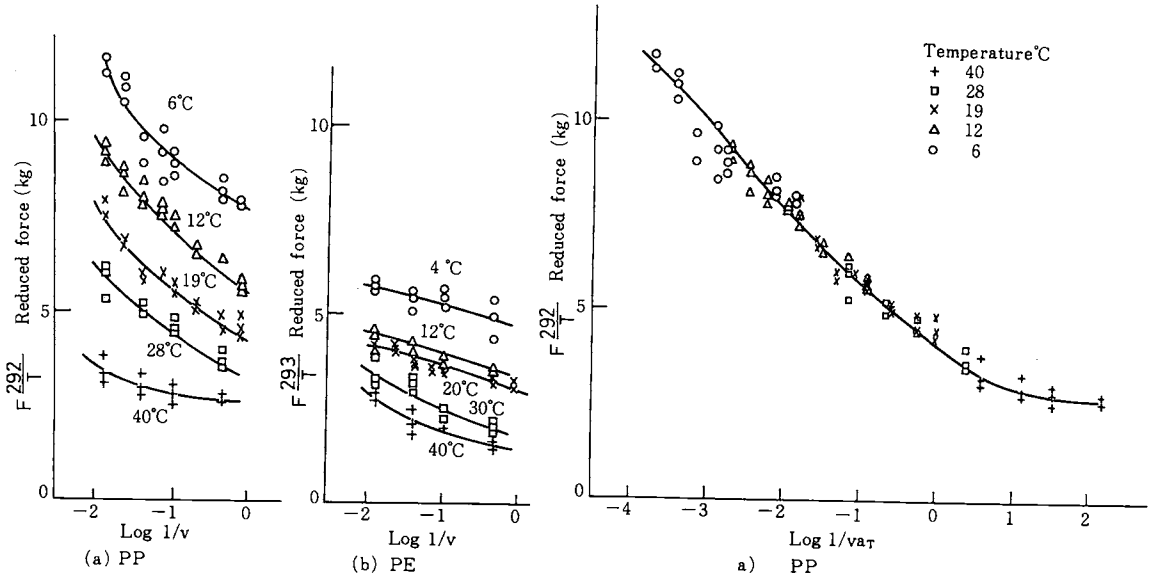


Fig. 3 Reduced cutting force vs. log reciprocal rate for different temperatures.

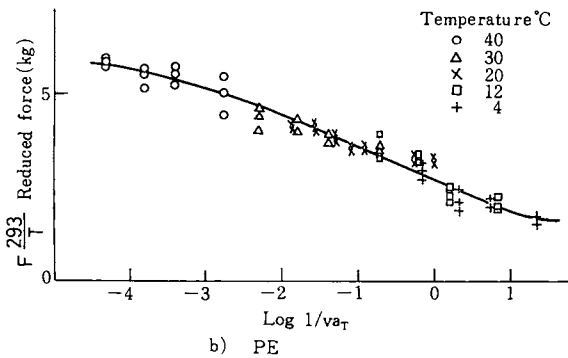


Fig. 4 Master curves for PP and PE. Cutting force reduced to 19°C for PP and 20°C for PE vs. log reciprocal reduced rate

図5には、PPの降伏応力の温度および歪速度依存性より得られる  $a_T$  をも図中に示したが、切断力に対する  $a_T$  とほぼ同様な傾向を示している。すなわち切断力は降伏における温度・時間換算法則と同一の関係にあるといえる。Livingstonの穴あけ破壊の研究は、広い温度範囲にわたって行われており、その結果 Williams・Landel・Ferry(W・L・F)式<sup>3)</sup>より Arrhenius 型の換算法則が当てはまることが示されている。このような換算法則の成立は、材料の粘性から生ずる。

切削において、エネルギー的考察より、材料切断自体の(材料の表面エネルギーに対応する)仕事は、材料の塑性変形や摩擦の仕事にくらべて微少であることが示されている<sup>4)</sup>。本報の切断においても、切刃進行に伴う切刃先端近傍での塑性変形による仕事が切断抵抗の重要な因子であると考えられ、この結果として換算因子  $a_T$  が降伏挙動と同一傾向をとるものと推定される。

なお、切断力として、第IV段階の摩擦抵抗の最大値(図2参照)を差引いた値を採用しても、温度・

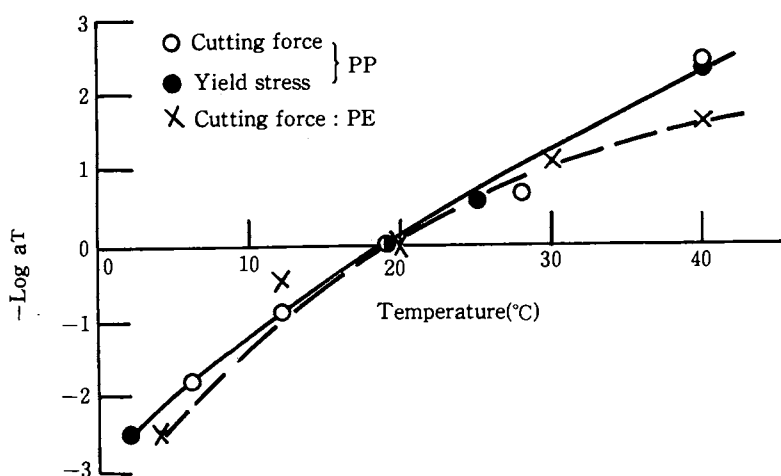


Fig. 5 Temperature dependence of shift factors for PP and PE.

時間換算因子は同一となる。切断機構をより詳細に検討するには、切刃先端での塑性変形状況の顕微鏡観察などが必要であろう。

#### 4. む す び

本報では、高分子材料の切削機構を調べるための第 I 段階として、かみそり刃による切断過程を検討した。ガラス遷移温度以上の実験条件で PP および PE の切断を行った。今後はガラス遷移温度以下にある材料に対しても実験したいと考えている。硬質塩化ビニルを用いた試験によると、ある抵抗値以上に達すると切断力は異常に振動する。この振動は切刃進行に伴い切刃先端で応力集中によってき裂発生が断続的に起るため生ずると考えられる。ガラス遷移温度下の材料に対して特有な現象と考えられ、微視的には興味深い。この点については、今後の研究が必要と考えている。

終りに実験に御協力頂いた本学卒業生、小林隆一、国谷 滋両君に謝意を表す。

#### 参 考 文 献

- 1) Kobayashi, A., Machining of Plastics, Mc Graw -Hill, New York (1967).
- 2) Livingston, D.I. et al., J. Appl. Polymer Sci., 5(1961), 442.
- 3) Williams, M.L., R.F. Landel, and J.O. Ferry, J. Am. CHEM. Soc., 77(1955), 3701. Tobolsky, A.V. 著 村上他訳 高分子の物性と構造 東京化学同人参考
- 4) 白井, 切削・研削加工学, 共立出版, (1971).

(昭和49年5月9日受理)